

Рис. 2

Литература

1. Вопросы подповерхностной радиолокации. / Под ред. А.Ю. Гринёва – М.: Радиотехника, 2005
2. Сафронов Г.С., Сафронова А.П. Введение в голографию. - М.: Советское Радио, 1973
3. Добряк В.А., Калмыков А.А., Куриленко А.С. Построение трёхмерных изображений в георадаре с ЛЧМ зондирующего сигнала /<http://webconf.rtf.ustu.ru/mod/forum/discuss.php?d=837>

ОСОБЕННОСТИ КОГЕРЕНТНОГО МЕТОДА ПРИЕМА ОТВЕТНОГО СИГНАЛА СВЕРХРЕГЕНЕРАТИВНОГО ПРИЕМОПЕРЕДАТЧИКА

А.В. Гусев, С.И. Кудинов, В. Э. Иванов

(Екатеринбург, УрФУ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина)

SPECIFICS OF COHERENT METHOD OF SUPER-REGENERATIVE TRANSCEIVER RESPONSE SIGNAL RECEPTION

S.I. KUDINOV, A.V. GUSEV, V.E. IVANOV

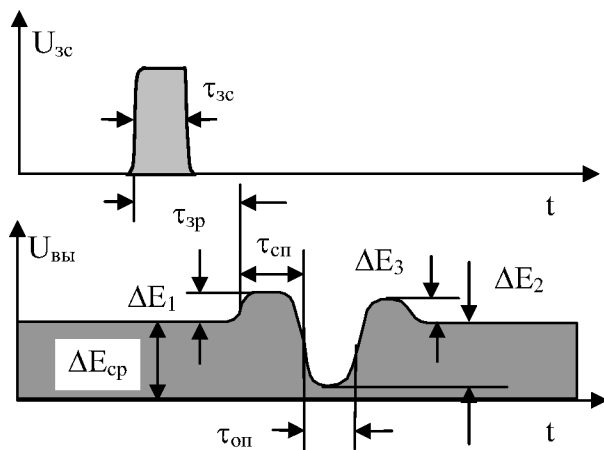


Рис.1.

Ответный сигнал СПП в виде паузы на выходе приемного устройства РЛС

Отличительной особенностью отечественных систем радиозондирования является измерение наклонной дальности радиоимпульсным методом до аэрологического радиозонда (АРЗ), снабженного сверхрегенеративным приемопередатчиком (СПП) [1]. Запросный радиоимпульс от аэрологического радиолокатора $U_{зс}$ вызывает изменение структуры радиоимпульсов, постоянно излучаемых приемопередатчиком АРЗ, выражающееся в появлении энергетического максимума - первичной реакции ΔE_1 и энергетического минимума в виде «паузы» - вторичной реакции ΔE_2 (рис.1). Временная задержка $\tau_{зр}$ от момента формирования запросного сигнала - им-

пульса запуска передатчика аэрологического радиолокатора до энергетического минимума в ответном сигнале, принимаемом аэрологическим радиолокатором, определяет значение реальной наклонной дальности до АРЗ. Для образования ответной паузы уровень мощности запросного сигнала должен на 20 – 30 дБ превышать мощность флуктуационных шумов СПП. Средняя мощность излучения СПП радиозонда составляет 150-250мВт. Этот уровень мощности обеспечивает соотношение сигнал/шум в канале измерения дальности РЛС типа АВК-1, «Вектор-М» на расстоянии 250км не менее 3. При чувствительности СПП порядка минус 90 – 100дБ/Вт и импульсной мощности запросного сигнала передатчика РЛС порядка 200Вт прием и обработка координатно-телеметрической информации надежно обеспечивается на расстоянии до 250км.

В работе [1] показана возможность практического построения когерентной моноимпульсной СР на основе импульсно-фазового метода формирования и обработки ответного сигнала СПП в канале измерения дальности. Весьма существенно подчеркнуть то, что осуществление приема когерентных ответных радиоимпульсов СПП позволяет построить систему измерения угловых координат на моноимпульсном принципе, приблизительно в 1,5 раза повысить точность определения угловых координат радиозонда и на 2 – 3 дБ повысить уровень потенциала радиоканала в сравнении с методом равносигнальной зоны (конического сканирования диаграммы направленности).

Для обоснования данного предложения следует пояснить закон установление фазы в течение переходного режима вплоть до достижения стационарной амплитуды автоколебаний СПП. При поступлении запросного сигнала $s(t)$ в контур СПП в течение приемного интервала суммарный процесс смеси сигнала и шума также будет описываться случайной функцией, которую, в свою очередь, можно представить в виде [2]:

$$\eta(t) = E(t) \cos [\omega_0 t - \varphi(t)], \quad (1)$$

где $E(t)$, $\varphi(t)$ - огибающая и фаза случайного процесса суммы сигнала и шума.

Можно показать, что функция распределения фазы процесса при $|\varphi - \varphi_0| \leq \pi$ имеет вид

$$W(\varphi) = \frac{1}{2\pi} \exp\left(-\frac{s^2}{2\sigma^2}\right) \left\{ 1 + s\sqrt{2\pi} \cos(\varphi - \varphi_0) F[s \cos(\varphi - \varphi_0)] \exp[\sin^2(\varphi - \varphi_0)] \right\}, \quad (2)$$

где ω_0 – частота запросного сигнала; $s = U_0 / \sigma$ - отношение амплитуды сигнала U_0 к средне-квадратичному значению шума в контуре;

$F[s \cos(\varphi - \varphi_0)] = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{s \cos(\varphi - \varphi_0)} \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt$ - интеграл вероятности; практически можно принять $\varphi_0 = 0$.

Функция распределения фазы (1, 2) зависит как от огибающей U_0 , так и от фазы φ детерминированной составляющей процесса.

Анализ показывает:

1. При любом законе распределения начальной фазы колебаний в момент запуска ($\tau = 0$) плотность распределения фазы в стационарном режиме СПП ($\tau = \tau_{уст}$) стремится к дельта-функции.

2. В СВЧ-автогенераторе переходной режим нельзя считать изохронным. Однако при многократном запуске СПП траектория переходного процесса существенно не изменяется, поэтому конечная плотность распределения фазы (в стационарном режиме) будет практически полностью определяться законом распределения фазы в приемном режиме. Далее предполагается, что радиоимпульсный случайный процесс можно считать стационарным, статистические характеристики радиоимпульсов не зависят от их номера в последовательности [3,4].

В общем случае, при воздействии внешнего гармонического сигнала, плотность непрерывной $W_n(\omega)$ и дискретной $W_d(\omega)$ частей спектра высокочастотного излучения приемопередатчика (6) можно получить с помощью усреднения спектра одиночной реализации. Выра-

жения, описывающие плотность непрерывной и дискретной составляющих спектра радиоимпульсов можно привести к виду [4]:

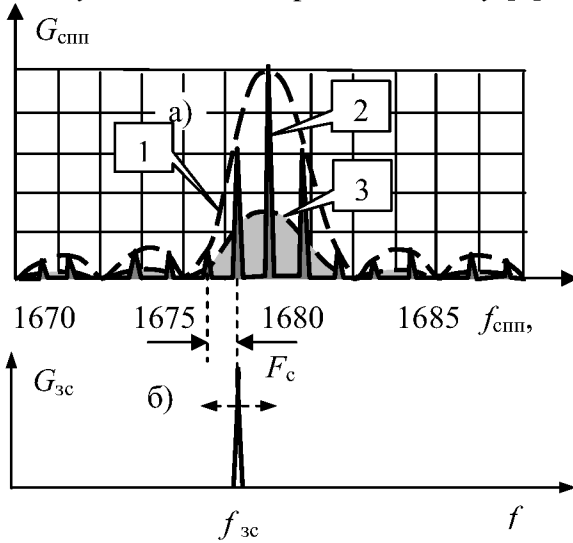


Рис.2.

ляющая радиочастотного спектра полностью отсутствует $W_d(\omega) = 0$. Таким образом, высокочастотный спектр СПП принципиально подобен белому шуму, что наблюдается при экспериментальных исследованиях.

При поступлении внешнего когерентного сигнала ($s > 1$) детерминированная составляющая в (5) $H(\omega) > 0$, в спектре СПП появляются дискретные составляющие, которые и определяют признак появления ответного сигнала. Таким образом, флуктуации времени задержки $\Delta \tau_3$ определяют непрерывную (шумовую) составляющую радиочастотного спектра и спектра огибающей радиоимпульсов, следовательно, снижают отношение сигнал/шум на выходе приемного устройства РЛС. На рис.2. изображены спектры излучения СПП и запросного сигнала: а) – спектр синхронизированных радиоимпульсов СПП; 1 – огибающая спектра излучения СПП; 2 – амплитуда дискретной спектральной составляющей $U_{дi}$; 3 – уровень флуктуационной составляющей спектра $U_{ш1}$; б) – спектр квазинепрерывного запросного сигнала на входе СПП.

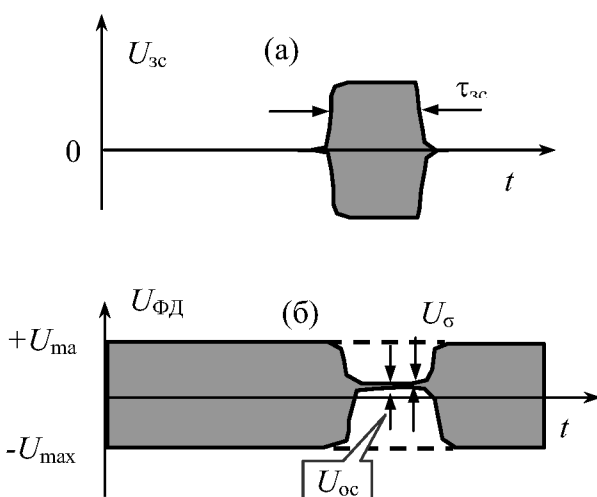


Рис.3.

На рис.3 изображены запросные когерентные радиоимпульсы $U_{зс}$, вид ответного сигнала $U_{ос}$ на выходе фазового детектора РЛС $U_{фд}$. Величина $U_{с}$ определяет фазовый шум когерентных радиоимпульсов. Наблюдаемый ответный сигнал СПП обеспечивает измерение дальности радиоимпульсным методом.

$$W_n(\omega) = 2 \theta_c^{-1} \{ K(\omega) - [H(\omega)]^2 \},$$

$$W_d(\omega) = 4 \pi \theta_c^{-2} [H(\omega)]^2 \sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} \delta(\omega - 2 \pi n F_c),$$

(3)

где – $K(\omega) = m [g(\omega, \phi, \Delta \tau_3)]^2$ – средняя мощность суммарного колебания; $H(\omega)^2 = m [g(\omega, \phi, \Delta \tau_3)]^2$ – средняя мощность дискретных составляющих; θ_c – скважность радиоимпульсов; n – номер гармоники дискретной составляющей спектра СПП.

Анализ приведенных выражений (2, 3) показывает их существенную зависимость от закона распределения фазы начальных колебаний. При равновероятном распределении фазы начальных колебаний ($s \rightarrow 0$) анализ выражений (5) показывает, что $H(\omega) = 0$, поэтому дискретная составляющая

Таким образом, при появлении на входе СПП последовательности когерентных запросных радиоимпульсов, превышающих по мощности на 7-10 дБ собственный флуктуационный шум, СПП будет отвечать последовательностью синхронизированных когерентных радиоимпульсов, спектр которых будет иметь практически дискретный линейчатый характер. Принципиально обнаружение ответного сигнала СПП может быть осуществлено путем сравнения фазы когерентных запросных радиоимпульсов с фазой ответных радиоимпульсов СПП в приемном устройстве наземной РЛС [5]. За счет обработки фазовой информации в ответном сигнале удастся повысить реальную чувствительность СПП до 120-130 дБВт.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (Постановление №218 от 07.04.2010) по гранту «Создание и производство технических средств радиозондирования атмосферы на основе спутниковых навигационных систем GPS/ГЛОНАСС с целью модернизации технологической базы аэрологической сети Росгидромета».

Список литературы

1. Иванов В.Э. Исследование импульсно-фазового метода формирования и приема ответного сигнала сверхрегенеративного приемопередатчика / В.Э. Иванов // Радиовысотометрия – 2004: Труды Первой Всероссийской науч.-техн. конф. Екатеринбург: Изд-во АМБ, 2004. С. 59 – 64.
2. Левин Б.Р. Теория случайных процессов и ее применение в радиотехнике. Изд. 2-е. Изд-во «Советское радио», 1960.
3. Григулевич В.И. О флюктуационном характере спектра электронного автогенератора / В.И. Григулевич // Изв. вузов. Сер. Радиотехника. 1959. № 4. С. 446 - 453.
4. Свириденко С.С. Изменение фазы в процессе установления автоколебаний лампового генератора, находящегося под воздействием слабой внешней силы. Радиотехника и электроника. № 8, 1963. С. 1344-1354.
5. Иванов В.Э. Структурная схема и особенности работы РЛС, построенной на импульсно-фазовом принципе формирования и приема ответного сигнала сверхрегенеративного приемопередатчика // Радиовысотометрия – 2004: тр. Первой Всероссийской науч.-техн. конф. Екатеринбург: Изд-во АМБ, 2004. С. 54 – 58.

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ТЕОРИИ ПРИЕМОПЕРЕДАТЧИКОВ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ РАДИОЗОНДОВ ТИПА МРЗ-3

С.И. Кудинов, А.В. Гусев, В. Э. Иванов

(Екатеринбург, УрФУ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина)

SOME ISSUE OF MRZ-3 TYPE DOMESTIC RADIOSONDE TRANSCIVER THEORY

S.I. Kudinov, A.V. Gusev, V.E. Ivanov

Отечественные системы радиозондирования атмосферы (СР) построены по угломерно-дальномерному методу измерения координат, скорости и направления движения радиозонда в свободной атмосфере. Измерение угловых координат: азимута (β), угла места (ϵ), а, также, наклонной дальности (R_n) осуществляется радиоимпульсным методом с активным ответом. Особенно эффективным оказалось использование в составе радиозондов сверхрегенеративных приемопередатчиков (СПП). Интенсивное излучение СПП обеспечивает надежную

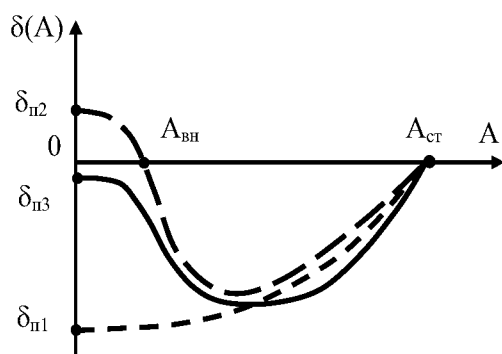


Рис. 1.

передачу телеметрической информации и сопровождение по угловым координатам. Высокая чувствительность СПП к импульсному запросному сигналу позволяет сформировать ответный сигнал по дальности в виде короткой паузы в излучении СПП при пониженной мощности передатчика запросного радиоимпульса РЛС. Весьма важным, в конечном счете, оказывается тот факт, что система определения координат и канал передачи телеметрической информации системы радиозондирования функционируют на одной несущей частоте [1].